

氏名	稲垣 紘 史
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	第3632号
学位授与年月日	平成11年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当者
学位論文名	直下型地震における床掘置換地盤上の重力式岸壁の安定に関する研究
論文審査委員	主 査 教 授 高田 直俊    副主査 教 授 小田 一紀 副主査 教 授 園田恵一郎

### 論文内容の要旨

神戸港の大型岸壁のほとんどは、海底の粘土地盤を床掘置換した砂礫質土上に設けたケーソン型式の重力式岸壁である。これら重力式岸壁は港湾構造物技術基準に基づく静的震度法により耐震設計されているが、兵庫県南部地震によって過去に例を見ない甚大な被害を受けた。これら岸壁の復興と耐震強化のために、地震動の特性、地盤状況と岸壁の被災状況を調べ、次いで大型模型による振動実験と数値モデル解析および関連要因の寄与水準の分析に基づき、地震時の岸壁の変形・破壊機構の究明を行った。

本論文の第1章では、これまでの岸壁に対する静的震度法による耐震設計の考え方および最近の耐震設計の研究の流れを紹介し、本研究の目的を位置付けた。

第2章では、港湾地域強震観測網で記録された兵庫県南部地震の加速度、速度、変位、方向性、水平動と鉛直動の関係などの分析と、近年港湾構造物に被害を与えた釧路沖地震と三陸はるか沖地震との比較を行い、最大水平加速度はこれら2つの地震と変わらないものの、速度と変位、鉛直動が極めて大きいことなど、兵庫県南部地震の直下型地震特有の性格を明らかにした。

第3章では、まず岸壁の変状調査結果から、岸壁法線が地震動の卓越方向に直角にある場合、および置換土層厚が大きい場合に被災変位が大きいことを示した。また、作用震度と静的震度法による破壊震度（安全率が1.0になる計算震度）の比で表す危険度から推定される被災岸壁の変位量が、過去の事例よりも大きいことを明らかにした。そして置換土とケーソン背面の埋立に用いた礫混じりのマサ土が、地震による繰返しせん断で液状化あるいは軟化しないとする従来の計算仮定に誤りがあることを指摘し、現地地盤の大口径不攪乱試料を用いた繰返し三軸圧縮試験結果からこのことを裏付けた。

第4章では、地震動中のケーソンと周辺地盤の加速度、変位、間隙水圧などの経時変化を大型2次元模型を用いた振動実験によって再現し、さらに置換土層と埋立土層の力学的性質が安定に及ぼす影響を調べた。その結果、地震動によるケーソンの動きは長周期化してロッキング的振動を呈し、置換土層が繰返しせん断で軟化する場合には、ケーソンドの捨石層を介して置換土層にめり込む形に水平変位したことから、重力式岸壁の被災は、置換土層の非排水繰返しせん断による軟化が主要因であると結論した。

第5章では、最近開発された、地盤要素の有効応力挙動を取り込める2次元地盤液状化解析法を被災した重力式岸壁に適用し、この数値モデルが被災岸壁の地震時挙動と残留変形をある程度の精度で再現することを確認したうえで、第4章と同様に置換土層と埋立土層の力学的性質が安定に及ぼす影響を調べた。その結果、数値モデル解析によっても、繰返し震動による置換土層のせん断剛性の低下がケーソンの被災変位の主要因であるとの結論を得た。

最後の第6章では、本研究によって得られた知見および重力式岸壁の耐震強化に対する課題をまとめた。

## 論文審査の結果の要旨

内陸直下型である兵庫県南部地震によって甚大な被害を受けた神戸港の大型岸壁のほとんどは、ケーソン型重力式岸壁で、海底粘土層を床掘して砂礫質のまさ上で置換えた地盤上に設けられ、港湾構造物技術基準に基づいて耐震設計されていたが、この地震は岸壁の耐震設計の見直しを突きつけた。本論文は、著者が現場の責任者として、被災した岸壁の復興と耐震化のために行った各種調査、人型模型による振動実験と数値モデル解析を通して、地震時の岸壁の変形・破壊機構と関連要因の寄与水準の検討結果をまとめたものである。

まず、港湾地域の強震記録の集積によって、岸壁に対する静的震度法による耐震設計法が次第に整理され、また、重力場における大型模型実験の相似則の整備と飽和砂の繰返しせん断挙動を取り込んだ動的震動解析が実用の域に達してきたことを紹介し、次いで港湾地域強震観測網が捉えた兵庫県南部地震の加速度、速度、変位、方向性などの分析から、港湾構造物に被害を与えた他の地震に比べて、水平加速度は変わらないものの、地震動の速度と変位、鉛直動が極めて大きい直下型地震特有の性格を明らかにしている。

神戸港全般の現場調査からは、法線が地震動の卓越方向にほぼ直交する東西の場合および置換土の層厚が大きい場合に岸壁の変状が著しく、また、在来の静的震度法に基づく設計震度と実震度の関係から推定される岸壁の被災変位量が、過去の震災事例よりも大きいことを明らかにしている。さらに、締め固めていない置換土層は、例えば礫混じり土であっても、通常の緩い砂地盤程度の強度であることを大口径不攪乱試料の繰返し三軸試験から明らかにし、置換土層が厚い場合に被災変位が大きいこととの関連を裏付けている。

次に、置換土層と埋立土層の力学的性質の組み合わせを変えて行った模型実験による地震動中のケーソンと周辺地盤の加速度、変位、間隙水圧の測定から、模型が実岸壁の被災挙動をほぼ再現していること、ケーソンがロッキング的な長周期振動を起こしていることを示し、沈下に伴うケーソンの水平変位の主原因が、繰返しせん断による置換土層の軟化にあることを明らかにしている。この知見は、同様の地盤条件を設定して行った数値解析による計算結果からも得られており、ケーソン型式の重力式岸壁の耐震化には床掘置換土層の強化が重要であるという価値ある結果を得ている。

以上の研究成果は港湾工学、耐震工学および地盤工学の発展に寄与するところ大である。よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格を有するものと認める。